条纹锯鮨(*Centropristis striata*)幼鱼维生素 C 需要量[1]

赵亭亭[1,2] 陈 超[1*] 邵彦翔[1] 张清雯[1,2] 刘 玲[1,2]

（1.中国水产科学研究院黄海水产研究所，青岛 266071；2.上海海洋大学水产与生命学院，上海 201306）

摘 要：本试验旨在研究条纹锯鮨(*Centropristis striata*)幼鱼维生素 C 需要量。试验采用单因素试验设计法，选取平均体重为（88.34±24.1） g 的条纹锯鮨幼鱼 630 尾，随机分为 7 组，每组 3 个重复，每个重复 30 尾鱼。各组分别投喂维生素 C 含量（实测值）分别为 10.97（对照）、74.03、148.33、213.64、335.33、618.88 和 910.98 mg/kg 等氮等能饲料。检测饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼生长性能、血清生化指标、相关酶活性、各组织中维生素 C 积累量和肌肉成分的影响。试验期 8 周。结果表明：1）74.03 mg/kg 组的增重率和特定生长率显著高于 10.97、618.88 和 910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），74.03 mg/kg 组的饲料系数显著低于 10.97 和 910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），10.97 和 910.98 mg/kg 组蛋白质效率显著低于 74.03 和 618.88 mg/kg 组（$P<0.05$），335.33 mg/kg 组的肥满度显著低于 74.03、148.33 和 213.64 mg/kg 组（$P<0.05$）。2）10.97、74.03 mg/kg 组血清总蛋白含量显著低于其他各组（$P<0.05$），618.88 和 910.98 mg/kg 组血清甘油三酯含量显著低于其他各组（$P<0.05$），10.97 mg/kg 组血清溶菌酶活性显著低于 213.64、335.33、618.88、910.98 mg/kg 组（$P<0.05$）。3）335.33 mg/kg 组血清超氧化物歧化酶（SOD）活性显著高于 10.97、74.03、910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），335.33 mg/kg 组血清总抗氧化能力（T-AOC）显著高于 10.97、618.88、910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），335.33 mg/kg 组血清丙二醛（MDA）含量显著低于 10.97 mg/kg 组（$P<0.05$）。4）10.97 mg/kg 组肝脏 SOD 和过氧化物酶（CAT）活性显著低于其他各组（$P<0.05$），148.33、335.33 和 910.98 mg/kg 组肝脏 MDA 含量显著低于 10.97 mg/kg（$P<0.05$）。5）74.03 mg/kg 组肌肉 SOD 活性和 T-AOC 均显著高于其他各组（$P<0.05$）。6）213.64、335.33、618.88、910.98 mg/kg 组血清谷丙转氨酶（GOT）活性显著低于 10.97 mg/kg 组（$P<0.05$），10.97 mg/kg 组肝脏 GOT 活性显著低于其他各组（$P<0.05$）。10.97、74.03 mg/kg 组血清谷草转氨酶（GPT）活性显著高

收稿日期：2018-05-28

基金项目：中国-东盟海上合作基金(2016-2018)；农业农村部农业国际合作交流项目-热带国家水产养殖科技创新合作；“海上丝路”国家鱼类养殖关键技术研究

作者简介：赵亭亭（1992—），女，山东济南人，硕士研究生，从事鱼类营养与饲料研究。E-mail: 2467832293@qq.com

*通信作者：陈 超，研究员，硕士生导师，E-mail: ysfrichenchao@126.com

于其他各组（$P<0.05$）。7)910.98 mg/kg 组血清中维生素 C 积累量显著高于其他各组($P<0.05$)，910.98 mg/kg 组肝脏中维生素 C 积累量显著高于 10.97、74.03、148.33 和 213.64 mg/kg 组($P<0.05$)，618.88 mg/kg 组的肌肉中维生素 C 积累量显著高于 10.97、74.03、148.33 和 213.64 mg/kg 组($P<0.05$)。8）74.03 mg/kg 组肌肉水分含量显著低于 10.97、148.33 和 213.64 mg/kg 组（$P<0.05$），910.98 mg/kg 组肌肉胶原蛋白含量显著高于其他各组（$P<0.05$）。由此可见，以特定生长率、肝脏中维生素 C 积累量和血清溶菌酶活性为评价标准，通过折线回归模型得出条纹锯鮨幼鱼饲料维生素 C 需要量分别为 66.66、309.93 和 345.11 mg/kg。

关键词：条纹锯鮨；维生素 C；生长；抗氧化；维生素 C 积累量

中图分类号：S963.73

维生素 C（vitamin C）也被称为抗坏血酸，是具水溶性的有机营养分子。在自然界中，大部分维生素 C 以还原形式存在，这种还原形式的抗坏血酸在动物体内具有促进铁元素吸收、增强机体免疫力的作用，另外它还是脯氨酸羟化酶和赖氨酸羟化酶的辅酶，因此是鱼类和哺乳动物合成组织胶原蛋白不可缺少的物质。已有报道表明，维生素 C 不仅能够加快鱼体的生长发育，还可以调节经济鱼类由于温度和光照变化、运输以及疾病等产生的应激状态，提高机体抗病力和免疫性[1-2]。但是，除少数软骨鱼类具有合成维生素 C 的能力外，硬骨鱼类由于缺乏合成抗坏血酸的酶导致无法自给自足而必须从食物中摄取[3-4]，因此饲料中维生素 C 的作用尤为重要。鱼类维生素 C 需求量受多种因素影响，如鱼的种类、鱼的规格、生存环境、应激状态以及维生素 C 剂型的不同等。鱼体若缺乏维生素 C 则会出现一系列的症状，如厌食、游泳缓慢、影响正常生长发育、脊柱弯曲、内脏出血、鱼鳍溃烂与死亡率升高等病症，影响生产效率，降低经济效益。

条纹锯鮨(*Centropristis striata*)俗称美洲黑石斑，常简称为黑石斑，属广温、广盐性鱼类，因其体色艳丽、体态优美、生长速度快、适应性与抗病力强、成活率高、营养丰富、加工方便等诸多优点，深得美国和加拿大广大消费者的喜爱，市场供不应求。我国山东省于 2002 年引入条纹锯鮨[5]，于 2006 年驯化及人工繁育成功[6]。近年来，条纹锯鮨育苗与人工养殖技术的逐渐成熟，为其养殖产业的兴起与壮大奠定了基础。但对条纹锯鮨配合饲料的研究，国内仅见林星[7]、邱金海[8]对其饲料蛋白质水平和能蛋比的报道。国外 Anderson 等[9]报道了用棉籽粉蛋白成功替代鱼粉蛋白以降低养殖成本；Alam 等[10-11]研究了条纹锯鮨幼鱼生长性能

最佳时适宜的饲料蛋白质水平以及饲料中添加不同水平的海盐对其生长和存活的影响。至今未见有关条纹锯鮨幼鱼对维生素 C 需要量的研究报道。因此，本试验通过在饲料中添加不同水平的维生素 C，研究维生素 C 对条纹锯鮨幼鱼生长、免疫、组织维生素 C 积累量及肌肉成分的影响，为条纹锯鮨配合饲料中适宜维生素 C 的添加提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料制备

试验饲料以鱼粉、酪蛋白、豆粕为蛋白源，以鱼油和豆油为脂肪源，配制 7 组等氮等能饲料，每组饲料中维生素 C 添加量分别为 0（对照组）、50、150、300、600、1 200 和 2 400 mg/kg（维生素 C 纯量，非维生素磷酸酯量），维生素 C 的添加形式为维生素 C 单磷酸脂（有效含量为 35%）。试验饲料组成及营养水平见表 1。微量成分按照逐级扩大法混均，豆粕、胆碱等经粉碎后过 80 目筛，各组分按配比称量后混和，所有组分混和后置于搅拌机中充分混匀，后经制粒机制成粒径为 5 mm 的圆形颗粒。置烘干机 50 ℃下烘干后于-20 ℃下冷藏备用。制成饲料送青岛科普研发技术中心有限公司利用高效液相色谱法检测各组饲料的维生素 C 含量，实测值分别为 10.97（对照组）、74.03、148.33、213.64、335.33、618.88 和 910.98 mg/kg。

表 1 试验饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
Items	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
原料 Ingredients							
鱼粉 Fish meal	45.000 0	45.000 0	45.000 0	45.000 0	45.000 0	45.000 0	45.000 0
豆粕 Soybean meal	15.000 0	15.000 0	15.000 0	15.000 0	15.000 0	15.000 0	15.000 0
酪蛋白 Casein	10.000 0	10.000 0	10.000 0	10.000 0	10.000 0	10.000 0	10.000 0
鱼油 Fish oil	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0
豆油 Soybean oil	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0
α-淀粉 α-starch	15.000 0	14.985 7	14.957 1	14.914 3	14.828 6	14.657 1	14.314 3
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0	2.000 0
羧甲基纤维素 CMCC	5.000 0	5.000 0	5.000 0	5.000 0	5.000 0	5.000 0	5.000 0
氯化胆碱 Choline chloride	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
矿物质预混料 Mineral premix[2)]	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
维生素 C 磷酸酯 Vitamin C phosphate		0.014 3	0.042 9	0.085 7	0.171 4	0.342 9	0.685 7
合计 Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

	0	0	0	0	0	0	0
营养水平 Nutrient levels							
粗蛋白质 Crude protein	44.7	44.2	44.9	44.8	44.9	44.8	44.8
粗脂肪 Crude lipid	6.1	6.1	6.3	6.1	5.9	5.9	6.1
维生素 C Vitamin C	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98

1)维生素预混料（不含维生素 C）为每千克饲料提供 Vitamin premix (without vitamin C) provided the following per kg of diets：VB_1 75 mg，VB_2 200 mg，叶酸 folic acid 20 mg，VB_6 50 mg，烟酸 niacin 500 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 300 mg，肌醇 inositol 1 000 mg，生物素 biotin 6 mg，VE 500 mg，VK 60 mg，VB_{12} 1 mg，维生素 A 乙酸酯 vitamin A acetate 15 mg，VD 0.05 mg。

2)矿物质混合物为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：$FeSO_4{\cdot}H_2O$ 8 g，$CuSO_4{\bullet}5H_2O$ 1 g，$MnSO_4{\bullet}H_2O$ 2 g，$ZnSO_4{\bullet}7H_2O$ 30 g，$MgSO_4{\bullet}7H_2O$ 150 g，CaI_2 0.5 g，Na_2SeSO_4 0.04 g，$C_OSO_4{\bullet}7H_2O$ 0.1 g，KCl 70 g，沸石粉 zeolite powder 738.36 g。

1.2 试验设计及养殖管理

试验在日照某养殖场进行。正式试验开始前，试验鱼暂养于 500 L 圆形 PE 养殖桶内，饱食投喂基础饲料 2 周，使之适应试验环境与饲料。暂养结束后，鱼体饥饿 24 h，选取规格一致、体质健壮、平均体重为（88.34±24.1） g 的条纹锯鮨幼鱼 630 尾，随机分为 7 组，每组 3 个重复，每个重复 30 尾鱼。试验鱼为同一养殖环境中养殖的同一批健康的 1 龄条纹锯鮨幼鱼，随机分配至 21 个 500 L 圆形 PE 养殖桶内，组间初始平均体重无显著差异（P>0.05）。养殖期间分别对应投喂 7 组试验饲料，每天饱食投喂 2 次（07:00 和 17:00），记录投饲量，投喂半小时后，吸除残饵与粪便，统计记录残饵数，正式养殖试验进行 8 周。

试验采用溢流水养殖方式，养殖期间定期测试水温（18~24 ℃）、pH（6.8~7.3）、溶解氧（6.24~7.08 mg/L）、盐度（22~24）和氨氮（0.45~0.63 mg/L）等水质指标，检查试验鱼生长情况并观察是否有鱼出现缺乏维生素 C 的症状。

1.3 样品采集

试验结束后，鱼体饥饿 24 h，对各桶中的试验鱼进行计数并测量体重体长，用于计算增重率（weight gain rate，WGR）、特定生长率（special growth rate，SGR）、肥满度（condition factor，CF）和成活率（survival rate，SR）；统计每组投喂的饲料质量，用于计算饲料系数 feed conversion ratio，FCR）和饲料的蛋白质效率（protein efficiency ratio，PER）。

从每个养殖桶中随机抽取 5 尾鱼，用 MS-222 将鱼体麻醉后，于尾部静脉采血，4 ℃过夜，3 500 r/min 离心 10 min，取上清，用于检测血清生化指标、相关酶活性、抗氧化指标及维生素 C 积累量；然后在冰盘上进行解剖，依次分离出内脏和肝脏，分别称重，记录数据，计算脏体比（viscerosomatic index，VSI）和肝体比（heaptosomatic index，HSI）；后取少量肝组织，用于检测肝脏的抗氧化指标和维生素 C 积累量；取少量背部肌肉，置于冻存管内，用于肌肉抗氧化指标和维生素 C 积累量的检测，将剩余背部肌肉置于-20 ℃冰柜中备用，用于肌肉成分的测定。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能、形体指标与饲料利用相关公式

增重率（%）=100×[（终末平均体重-初始平均体重）/初始平均体重]；

特定生长率（%/d）=100×（ln 平均末重-ln 平均初重）/试验天数；

成活率（%）=100×终末鱼尾数/初始鱼尾数；

肝体比（%）=100×肝重/体重；

脏体比（%）=100×内脏重/体重；

肥满度（g/cm^3）=体重/体长 ^{3}；

饲料系数（FCR）=总干物质摄食量/鱼体总增重；

蛋白质效率（PER）=（平均末重-平均初重）/总饲料蛋白质摄入量。

1.4.2 血清生化及组织抗氧化指标

血清总蛋白含量和碱性磷酸酶活性的测定均采用微量酶标法，甘油三酯和胆固醇含量的测定分别采用甘油三酯检测试剂盒（GPO-PAP 法）和总胆固醇检测试剂盒(COD-PAP 法)，利用比浊法测定血清溶菌酶的活性。血清、肝脏与肌肉组织中的超氧化物歧化酶（SOD）活性的测定采用羟胺法，可见光法测定过氧化氢酶（CAT）活性，总抗氧化能力（T-AOC）和维生素 C 积累量均通过比色法进行测定，微板法测定谷草转氨酶（GPT）及谷丙转氨酶（GOT）活性和丙二醛（MDA）含量。以上所用试剂盒均购于南京建成生物工程研究所，试验步骤严格按照说明书操作。

1.4.3 肌肉成分的测定

肌肉送青岛科普研发技术中心有限公司进行检测。肌肉的粗蛋白质、粗脂肪、水分、粗灰分含量分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法、直接干燥法与马弗炉 550 ℃高温灼烧法进行测

定，胶原蛋白含量采用羟脯氨酸法[12]进行测定。

1.5　数据统计与分析

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析（one-way ANOVA），并用 Duncan 氏多重比较法分析各组间的差异性，$P<0.05$ 时为差异显著。试验数据以“平均值±标准差（mean±SD）”表示。图表处理及回归方程计算用 Excel 2007 进行统计。

2　结果与分析

2.1　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼生长性能、形体指标和饲料利用的影响

由表 2 可知，74.03 mg/kg 组条纹锯鮨幼鱼的增重率和特定生长率显著高于 10.97、618.88 和 910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），与其他各组间无显著差异（$P>0.05$）。当饲料维生素 C 含量从 74.03 mg/kg 增加到 910.98 mg/kg 时，条纹锯鮨幼鱼的增重率和特定生长率均开始呈现下降趋势，饲料中维生素 C 添加量达到 910.98 mg/kg 时，开始抑制其生长。饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼的存活率无显著影响（$P>0.05$）。

74.03 mg/kg 组条纹锯鮨幼鱼的饲料系数显著低于 10.97 和 910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），618.88 mg/kg 组的饲料系数显著低于 910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），剩余各组间的饲料系数差异不显著（$P>0.05$）。10.97 和 910.98 mg/kg 组条纹锯鮨幼鱼的蛋白质效率显著低于 74.03 和 618.88 mg/kg 组（$P<0.05$）。335.33 mg/kg 组条纹锯鮨幼鱼的肥满度显著低于 74.03、148.33 和 213.64 mg/kg 组（$P<0.05$），且与 10.97、618.88 和 910.98 mg/kg 组差异不显著（$P>0.05$）。饲料维生素 C 含量对鱼体的肝体比无显著影响（$P>0.05$）。74.03 mg/kg 组条纹锯鮨幼鱼的脏体比显著高于 910.98 mg/kg 组（$P<0.05$），与其他各组无显著差异（$P>0.05$）。

由图 1 可见，以饲料维生素 C 含量与特定生长率做折线回归模型可得：Y=0.005 4X+0.760 9 (R^2=1.000 0)和 Y=-0.000 5X+1.154 2(R^2=0.947 8)，2 条直线相交点即为条纹锯鮨幼鱼特定生长率最大时饲料维生素 C 含量，即维生素 C 需要量为 66.66 mg/kg。

表 2　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼生长性能、形体指标和饲料利用的影响

Table 2　Effects of dietary vitamin C content on growth performance, morphological indexes and feed utilization of juvenile *Centropristis striata*　　%

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
末重 FBW/g	136.03±6.91	162.14±10.82	157.17±12.60	159.43±13.9	146.30±10.19	135.82±12.04	129.00±9.88
增重率 WGR/%	53.25±8.74[ab]	83.17±4.48[c]	75.31±5.64[bc]	77.51±3.27[bc]	64.44±4.79[abc]	53.65±9.73[ab]	44.97±9.10[a]
特定生长率 SGR/	0.82±0.04[ab]	1.16±0.14[c]	1.07±0.05[bc]	1.10±0.15[bc]	0.94±0. 03[abc]	0.82±0.02[ab]	0.71±0.09[a]

（%/d）

存活率 SR/%	98.00±0.02	100.00±0.00	99.00±0.02	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	99.00±0.02
饲料系数 FCR	1.26±0.04[b]	0.80±0.05[a]	0.90±0.03[ab]	0.91±0.14[ab]	1.14±0.26[ab]	0.88±0.09[a]	1.27±0.22[b]
蛋白质效率 PER/%	1.79±0.21[a]	2.87±0.33[c]	2.50±0.27[abc]	2.50±0.36[abc]	2.13±0.69[ab]	2.55±0.27[bc]	1.79±0.29[a]
肥满度 CF/(g/cm^3)	3.36±0.11[ab]	3.43±0.15[b]	3.39±0.06[b]	3.44±0.15[b]	3.11±0.06[a]	3.24±0.06[ab]	3.28±0.17[ab]
肝体比 HSI/%	1.72±0.18	2.33±0.16	2.09±0.16	2.25±0.09	1.73±0.05	1.84±0.17	1.84±0.13
脏体比 VSI/%	7.92±1.11[ab]	8.40±0.40[b]	8.06±0.54[ab]	7.78±0.45[ab]	7.53±0.36[ab]	7.55±0.24[ab]	6.93±0.20[a]

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

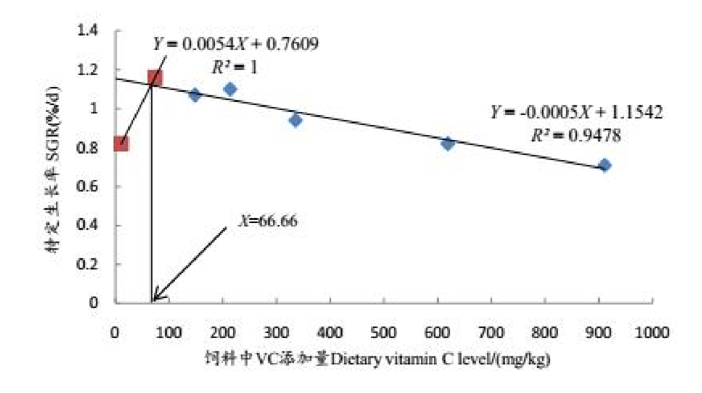


图 1　饲料维生素 C 含量与条纹锯鮨幼鱼特定生长率的关系

Fig.1　Relationship between dietary vitamin C content and SGR of juvenile *Centropristis striata*

2.2　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清生化指标的影响

由表 3 可知，10.97、74.03 mg/kg 组血清总蛋白含量显著低于其他各组（P<0.05），其他各组之间无显著差异(P>0.05)。618.88 和 910.98 mg/kg 组血清甘油三酯含量显著低于其他各组（P<0.05）。10.97 mg/kg 组血清溶菌酶活性显著低于 213.64、335.33、618.88、910.98 mg/kg 组（P<0.05）。饲料维生素 C 含量对血清总胆固醇含量及碱性磷酸酶活性无显著影响(P>0.05)。

由图 2 可见，以饲料维生素 C 含量与血清溶菌酶活性做折线回归模型可得：Y=0.236 5X+43.694 (R^2=0.893 8)和 Y=-0.054 7X+144.19 (R^2=1.000 0)，2 条直线相交点即为条纹锯鮨幼鱼血清溶菌酶活性最高时饲料维生素 C 含量，即维生素 C 需要量为 345.11 mg/kg。

表 3　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清生化指标的影响

Table 3　Effects of dietary vitamin C content on serum biochemical indices of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
总蛋白 TP/(g/L)	54.17±0.96[a]	57.26±1.03[a]	64.74±1.41[b]	62.36±0.21[b]	66.08±3.45[b]	64.15±2.23[b]	64.29±4.42[b]

甘油三酯 TG/(mmol/L)	3.55±0.29[c]	3.45±0.14[bc]	3.47±0.09[bc]	3.28±0.05[b]	3.25±0.03[b]	2.86±0.08[a]	2.91±0.07[a]
总胆固醇 CHOL/(mmol/L)	10.77±3.32	11.15±1.65	11.00±3.13	10.21±3.28	6.96±3.52	6.11±3.58	5.39±2.43
溶菌酶 LZM/(U/mL)	52.63±4.13[a]	59.65±8.49[ab]	62.77±7.79[ab]	105.27±12.43[c]	123.20±10.67[c]	110.33±11.05[c]	94.35±11.74[bc]
碱性磷酸酶 AKP/(U/dL)	8.33±0.52	6.39±0.40	11.09±0.93	10.81±1.56	8.06±0.58	8.91±0.37	8.95±1.18

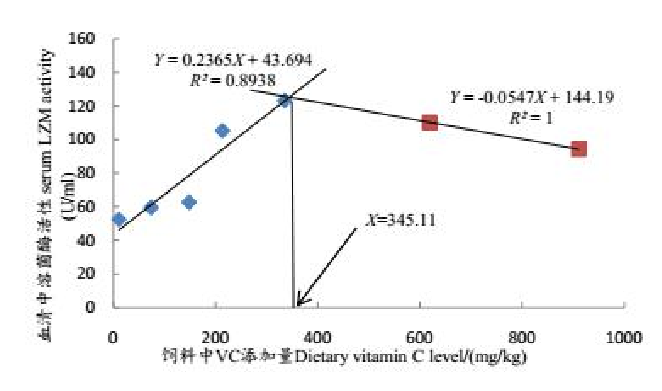


图 2　饲料维生素 C 含量与条纹锯鮨幼鱼血清溶菌酶活性的关系

Fig.2　Relationship between dietary vitamin C content and serum LZM activity of juvenile *Centropristis striata*

2.3　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知，血清 SOD 活性和 T-AOC 均随着饲料维生素 C 含量的升高呈现出先升高后降低的趋势，血清 MDA 含量呈现先降低后升高的趋势。335.33 mg/kg 组血清 SOD 活性最高，显著高于 10.97、74.03、910.98 mg/kg 组（$P<0.05$）；335.33 mg/kg 组血清 T-AOC 最高，显著高于 10.97、618.88、910.98 mg/kg 组（$P<0.05$）；335.33 mg/kg 组血清 MDA 含量最低，显著低于 10.97 mg/kg 组（$P<0.05$）。饲料维生素 C 含量对血清 CAT 活性无显著影响($P>0.05$)。

由此可见，饲料维生素 C 含量为 335.33 mg/kg 时，对提高条纹锯鮨幼鱼血清抗氧化指标的效果最好。

表 4　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of dietary vitamin C content on serum antioxidant indices of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	27.36±4.49[a]	31.40±0.12[b]	35.37±0.78[cd]	35.09±0.46[cd]	37.64±1.85[d]	36.02±0.89[cd]	33.58±0.82[bc]
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	23.55±2.76	24.21±1.62	24.54±2.14	24.90±4.16	25.16±1.28	24.80±5.46	25.63±3.90
总抗氧化能力 T-AOC/(mmol/mL)	12.32±0.51[a]	14.66±1.15[bc]	15.60±0.41[c]	15.20±0.98[c]	15.91±0.60[c]	13.45±0.32[ab]	13.24±1.33[ab]

丙二醛 MDA/(nmol/mL)	31.22±2.41[b]	26.62±1.97[ab]	26.50±3.18[ab]	24.41±2.64[ab]	22.65±1.60[a]	25.17±2.48[ab]	27.29±2.18[ab]

2.4　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨肝脏抗氧化指标的影响

由表 5 可知，335.33 mg/kg 组肝脏 SOD 和 CAT 活性最高，MDA 含量最低。饲料维生素 C 含量对肝脏 T-AOC 无显著影响(P>0.05)。10.97 mg/kg 组肝脏 SOD 和 CAT 活性显著低于其他各组（P<0.05）。148.33、335.33 和 910.98 mg/kg 组肝脏 MDA 含量显著低于 10.97 mg/kg（P<0.05）。

由此可见，饲料维生素 C 含量为 335.33 mg/kg 时，可显著增强条纹锯鮨幼鱼肝脏的抗氧化能力。

表 5　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨肝脏抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of dietary vitamin C content on liver antioxidant indices of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg)	49.31±4.83[a]	58.98±4.51[b]	60.39±5.33[bc]	66.87±1.97[bc]	68.03±4.12[c]	67.63±4.73[c]	62.72±3.69[bc]
过氧化氢酶 CAT/(U/mg)	15.18±3.48[a]	19.23±2.62[b]	20.17±3.98[b]	23.88±1.65[c]	33.63±2.43[d]	24.69±2.11[c]	23.37±1.60[c]
总抗氧化能力 T-AOC/(mmol/g)	0.36±0.02	0.36±0.02	0.35±0.05	0.37±0.03	0.36±0.42	0.39±0.06	0.36±0.05
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	0.58±0.03[b]	0.41±0.12[ab]	0.33±0.09[a]	0.37±0.08[ab]	0.29±0.05[a]	0.41±0.24[ab]	0.31±0.16[a]

2.5　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼肌肉抗氧化指标的影响

由表 6 可知，饲料维生素 C 含量对肌肉 CAT 活性和 MDA 含量无显著影响(P>0.05)。74.03 mg/kg 组肌肉 SOD 活性和 T-AOC 均显著高于其他各组（P<0.05）。

由此可见，饲料维生素 C 含量为 74.03 mg/kg 时，可有效增强肌肉的抗氧化能力。

表 6　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼肌肉抗氧化指标的影响

Table 6　Effects of dietary vitamin C content on muscle antioxidant indices of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg)	4.71±0.37[ab]	6.43±0.33[c]	5.39±0.15[b]	5.09±0.66[ab]	5.17±0.12[b]	4.94±0.38[ab]	4.48±0.25[a]
过氧化氢酶 CAT/(U/mg)	188.37±38.73	174.94±31.77	178.33±41.17	171.58±39.76	208.66±55.43	158.03±59.05	167.33±2.87
总抗氧化能力	0.48±0.02[bc]	0.55±0.1[d]	0.47±0.01[b]	0.49±0.01[c]	0.41±0.01[a]	0.42±0.01[a]	0.41±0.02[a]

T-AOC/(mmol/g)							
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	0.55±0.22	0.44±0.27	0.39±0.15	0.28±0.08	0.32±0.12	0.28±0.03	0.22±0.19

2.6　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清及肝脏 GOT 和 GPT 活性的影响

由表 7 可知，213.64、335.33、618.88、910.98 mg/kg 组血清 GOT 活性显著低于 10.97 mg/kg 组（*P*<0.05）。肝脏 GOT 活性随着饲料维生素 C 含量的增加呈先上升后降低趋势，10.97 mg/kg 组显著低于其他各组（*P*<0.05），在 335.33 mg/kg 组达最高。10.97、74.03 mg/kg 组血清 GPT 活性显著高于其他各组（*P*<0.05），其他各组之间差异不显著（*P*>0.05）。饲料维生素 C 含量对肝脏 GPT 活性无显著影响（*P*>0.05）。

表 7　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清及肝脏 GOT 和 GPT 活性的影响

Table 7　Effects of dietary vitamin C content on activities of GOT and GPT in serum and liver of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
血清 GOT Serum GOT activity/(U/L)	6.39±0.41[a]	6.17±0.56[a]	5.58±0.31[ab]	5.05±0.64[bc]	4.57±0.28[c]	4.41±0.54[c]	5.20±0.46[bc]
肝脏 GOT Liver GOT activity/(U/g)	83.41±5.24[a]	95.10±3.08[b]	100.97±3.70[b]	117.18±9.13[c]	123.13±7.01[c]	117.61±7.95[c]	93.06±2.69[a]
血清 GPT Serum GPT activity/(U/L)	4.22±0.16[a]	3.87±0.22[a]	3.20±0.20[b]	3.07±0.17[b]	3.08±0.36[b]	3.05±0.13[b]	3.28±0.25[b]
肝脏 GPT Liver GPT activity/(U/g)	79.92±3.04	81.36±6.36	80.97±2.30	82.08±2.44	82.68±3.95	83.40±3.68	84.56±1.73

2.7　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清、肝脏和肌肉中维生素 C 积累量的影响

由表 8 可知，血清中维生素 C 积累量随着饲料维生素 C 含量的增加不断升高，910.98 mg/kg 组血清中维生素 C 积累量达到最高，显著高于其他各组(*P*<0.05)。肝脏中维生素 C 积累量也是随着饲料维生素 C 含量的升高而升高，910.98 mg/kg 组肝脏中维生素 C 积累量最高，并且显著高于 10.97、74.03、148.33 和 213.64 mg/kg 组(*P*<0.05)，与 335.33、618.88 mg/kg 组差异不显著(*P*>0.05)。肌肉中维生素 C 积累量随着饲料维生素 C 含量的升高而增加，618.88 mg/kg 组的肌肉中维生素 C 积累量最高，显著高于 10.97、74.03、148.33 和 213.64 mg/kg 组(*P*<0.05)，与 335.33、618.88 mg/kg 组差异不显著(*P*>0.05)。

条纹锯鮨幼鱼肝脏中维生素 C 积累量是 3 个组织中最高的。由图 3 可见，以饲料维生素 C 含量与肝脏中维生素 C 积累量做折线回归模型可得：Y=0.058 5X+7.5367 (R^2=0.996 7) 和 Y=-0.001 7X+25.141 (R^2=1.000 0)，2 条直线相交点即为条纹锯鮨幼鱼肝脏中维生素 C 积累量最高时饲料维生素 C 含量，即维生素 C 需要量为 309.93 mg/kg。

表 8　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清、肝脏和肌肉中维生素 C 积累量的影响

Table 8　Effects of dietary vitamin C content on accumulations of vitamin C in serum, liver and muscle of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
血清中维生素 C 积累量 Serum vitamin C accumulation/(μg/mL)	1.58±0.04[a]	1.63±0.02[a]	2.20±0.16[a]	4.69±0.21[b]	9.06±0. 42[c]	9.35±1.04[c]	16.65±1.01[d]
肝脏中维生素 C 积累量 Liver vitamin C accumulation/(μg/mg)	7.73±0.48[a]	12.08±1.26[b]	16.35±0.71[c]	20.55±1.88[d]	26.72±1.24[e]	26.20±1.24[e]	26.70±1.11[e]
肌肉中维生素 C 积累量 Muscle vitamin C accumulation/(μg/mg)	0.62±0.08[a]	0.81±0.04[ab]	1.20±0.26[b]	1.92±0.07[c]	2.48±0.09[d]	2.91±0.24[d]	2.84±0.10[d]

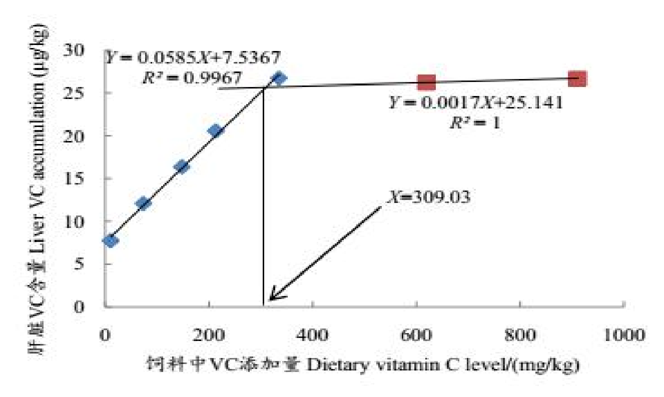


图 3　饲料维生素 C 含量与条纹锯鮨幼鱼肝脏中维生素 C 积累量的关系

Fig.3　Relationship between dietary vitamin C content and liver vitamin C accumulation of juvenile *Centropristis*

2.8　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼肌肉成分的影响

由表 9 可知，饲料维生素 C 含量对肌肉粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量均无显著影响 (P>0.05)。74.03 mg/kg 组肌肉水分含量显著低于 10.97、148.33 和 213.64 mg/kg 组（P<0.05）。肌肉胶原蛋白含量随着饲料维生素 C 含量的升高而增加，910.98 mg/kg 组肌肉胶原蛋白含量最高，显著高于其他各组（P<0.05）。

表 9　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼肌肉成分的影响

Table 9　Effects of dietary vitamin C content on muscle composition of juvenile *Centropristis striata*

项目 Items	饲料维生素 C 含量 Dietary vitamin C content/(mg/kg)						
	10.97	74.03	148.33	213.64	335.33	618.88	910.98
水分 Moisture/%	73.73±0.59[b]	68.87±0.61[a]	73.93±4.58[b]	74.33±2.74[b]	72.60±1.57[ab]	70.53±0.76[ab]	71.97±0.42[ab]
粗蛋白质 Crude protein/%	21.40±1.67	22.60±0.95	21.80±1.21	22.13±0.35	21.37±2.30	22.30±0.26	21.43±2.20
粗脂肪 Crude lipid/%	4.97±0.38	6.57±2.14	4.83±1.46	7.10±3.33	4.60±0.53	5.13±1.91	5.00±1.51
粗灰分 Ash/%	3.67±0.51	3.73±0.29	3.03±0.55	4.40±1.13	3.67±0.35	3.27±1.39	3.03±0.58
胶原蛋白 Collagen protein/(g/kg)	1.36±0.21[a]	1.40±0.23[a]	2.48±0.34[ab]	2.57±0.13[ab]	3.43±0.28[bc]	4.16±0.46[c]	6.21±1.70[d]

3　讨　论

3.1　饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼生长性能及血清生化指标的影响

本研究结果表明，饲料中添加一定含量的维生素 C 对条纹锯鮨幼鱼具有显著的促生长作用，但维生素 C 含量过高（910.98 mg/kg）时不再促进条纹锯鮨的生长，反而出现抑制生长现象。这一结果同周歧存等[13]对点带石斑鱼（*Epinephelus coioides*）、Shiau 等[14]对杂交罗非鱼（*Oreochromis niloticus* ×*O. aureus*）的研究结果一致。对饲料维生素 C 含量及条纹锯鮨幼鱼特定生长率之间进行折线模型回归分析可知，条纹锯鮨幼鱼饲料中维生素 C 的适宜含量为 66.66 mg/kg，与胡毅等[15]对青鱼（*Mylopharyngodon pieceus*）的研究结果（63 mg/kg）基本一致。在试验过程中，对照组鱼体并未出现鳍条溃烂、脊柱弯曲、内部出血、死亡率增加等维生素 C 缺乏症，这可能因为对照组饲料含有一定量的维生素 C（10.97 mg/kg），也可能是由于试验鱼体较大，对维生素 C 缺乏不够敏感所致。另外，Lee 等[16]对许氏平鲉（*Sebastes schlegeli*）的研究表明，对鱼体投喂不含维生素 C 的饲料 12~16 周后，鱼体才会出现维生素 C 缺乏症，因此维生素 C 缺乏是否能引起条纹锯鮨幼鱼出现维生素 C 缺乏症，需要进一步延长养殖周期才能得以证明。本试验中，各组间条纹锯鮨的生长性能虽有差异，但总体生长效果一般，增重率较低，猜测是由试验鱼体规格较大导致。因此，建议在后续的研究工作中尽量采用规格较小的试验鱼以获得更佳的试验效果。

碱性磷酸酶是生物体内关键的代谢调控酶，可以直接参与磷酸基团的运输和钙磷代谢，在鱼体对营养成分的吸收与利用过程中扮演着至关重要的角色，除此以外还能通过转变病原体的表面构造而强化被感染机体对病原体的识别和吞噬能力，有利于增强鱼体的免疫力[17]。本试验结果表明，饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨血清中 AKP 的活性无显著影响，这可能是

因为鱼体对外界刺激的反应首先反映在组织抗氧化系统上，血清中 AKP 主要用于参与代谢调控和营养物质的吸收、利用上，并不需要调动血清中 AKP 的活性，具体原因还需进一步深入研究。

3.2 饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼组织抗氧化指标及血清、肝脏中 GOT、GPT 活性的影响

动物体内活性氧自由基的形成和清除必须维持着一个动态平衡，才可以使机体免受氧化胁迫的危害，保证机体正常的运转。MDA 是脂质被氧化后的关键成分，因其可对生物体细胞的构造和活性产生很强的破坏性而具有很大的生物毒性[18]，MDA 的含量可以直接表明生物膜受氧化损害的水平，间接表明自由基对生物体的损害水平[19]。SOD 和 CAT 等构成的抗氧化酶系统，可清除机体代谢产生的过多的自由基。其中，SOD 是体内以超氧阴离子（O^{2-}）为唯一底物的酶类和自由基连锁反应的阻断剂，它可特异性地催化超氧化物自由基歧化为过氧化氢和氧气，过氧化氢在 CAT 的作用下生成无毒性的水和氧气。因此，检测鱼类组织中的 SOD、CAT 的活性和 MDA 含量的变化可以较为准确地反映鱼体内的抗氧化状况[20]。T-AOC 是评价机体清除自由基和其他潜在毒性氧化物能力的指标，机体总抗氧化力的数值与其清除自由基的能力呈正比，即 T-AOC 数值越大，机体的防御性越强。在条纹锯鮨幼鱼肌肉组织中，335.33 mg/kg 组的 SOD 活性最大，饲料维生素 C 含量对肌肉组织中 CAT 的活性和 MDA 的含量无显著影响，但是 74.03 mg/kg 组的 T-AOC 最强。这可能是因为抗氧化系统除本研究中检测的 SOD 和 CAT 指标外，还存在的谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）等其他抗氧化因子也做出了反应。另外，维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼血清和肌肉中的 CAT 活性均无显著影响，这可能是由于 SOD 是首先作用于活性氧自由基的酶，CAT 是 SOD 的下游酶，负责清除 SOD 与 O^{2-}作用后产生的过氧化氢，另外 GSH-Px 也可以起到同样的作用，所以 CAT 并未被调动参与血清和肌肉组织的抗氧化反应中。

研究报道，饲料中添加 316、2 000、100 和 630 mg/kg 维生素 C 可提高黄颡鱼（*Pelteobagrus fulvidraco* Rich）[21]、大口黑鲈（*Micropterus salmoides*）[22]、草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*）[23]、点带石斑鱼[24]等鱼组织中 SOD 的活性；但宋理平等[25]对中国对虾（*Fenneropenaeus chinensis*）幼虾的报道称，饲料中的维生素 C 含量对其组织的 SOD 活性无显著影响，而艾春香[26]对河蟹（*Eriochier sinensis*）的研究表明，随着饲料维生素 C 含量的升高其血清 SOD

的活性反而降低。由此可见，饲料维生素 C 含量对水产动物组织中 SOD 活性影响的结论尚不一致，这可能与水产动物的种类、生长阶段、健康状况、养殖环境以及添加维生素 C 来源的形式和维生素 C 与维生素 E 等营养因子的相互作用有关，具体机制需要进一步深入研究。

GOT 和 GPT 在正常情况下主要分布于肝脏和心肌等组织细胞中，血清中转氨酶的含量很少且活性很低，其主要作用是参与细胞内蛋白质的新陈代谢和转氨基作用。当肝脏受损时，细胞通透性增大，GOT 和 GPT 从肝脏进入血液中，导致血清中 2 种转氨酶活性上升。因而血清中 GOT 和 GPT 的活性可以反映肝组织是否病变或受损[27]。本研究中条纹锯鮨幼鱼血清中 GPT 的活性随着饲料维生素 C 含量的升高而不断下降，后处于平稳状态。在条纹锯鮨幼鱼肝脏中，GOT 的活性先随着饲料维生素 C 含量的增加而增强，而饲料维生素 C 含量达到 910.98 mg/kg 时，GOT 的活性明显降低。这说明饲料中添加适量的维生素 C 可以对鱼体起到一定程度保肝护肝的作用。

3.3 饲料维生素 C 含量对条纹锯鮨幼鱼组织维生素 C 积累量及肌肉营养成分的影响

Wang 等[28]报道，鱼体组织维生素 C 的积累量由低到高为肌肉、肝脏、脑、鳃，本研究结果与上述报道一致，肌肉是 3 个组织中维生素 C 积累量最低的组织。Al-Amoudi 等[29]认为，出现这种现象的原因是肌肉的活跃度造成的，肌肉中的维生素 C 以一种可消费的形式存在，能直接参与生理活动。而肝脏是维生素 C 的主要代谢场所，也是主要储存场所，所以肝脏中的维生素 C 含量远高于肌肉。Dabrowski[30]认为，鱼类从外界获取的维生素 C 主要用于维持组织中维生素 C 的稳定状态，所以维持组织最大积累量的维生素 C 添加量即为鱼类的最适添加量。Foumier 等[31]报道，肝脏维生素 C 积累量达到饱和时饲料中的维生素 C 含量是估算欧洲鲈鱼对维生素 C 需要量的最可靠的指标，因此本研究中饲料维生素 C 含量为 335.33 mg/kg 是个可信的指标。经折线模型回归分析可知，饲料维生素 C 含量为 309.93 mg/kg 的时，肝脏中维生素 C 的积累量开始进入平台期。

本试验结果表明，条纹锯鮨幼鱼肌肉中粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分的含量不受饲料维生素 C 含量的影响，该结果与对半滑舌鳎（*Cynoglossus semilaevis*）[32]、翘嘴鲌（*Culter alburnus*）[33]、吉富罗非鱼（*O. niloticus*）[34]的研究结果一致，但对点带石斑鱼[9]的研究显示，饲料中维生素 C 含量对其肌肉的粗脂肪含量有显著影响。本试验结果表明，饲料中添加高含量的

维生素 C 可显著提高肌肉中胶原蛋白的含量。胶原蛋白中羟脯氨酸和羟赖氨酸的含量十分丰富，维生素 C 是脯氨酸和赖氨酸羟化反应不可缺少的辅酶，能够促进两者的形成，因此添加维生素 C 有助于胶原蛋白的形成。

4 结 论

① 饲料中添加适量的维生素 C，可显著影响条纹锯鮨幼鱼的生长、饲料利用、血清生化以及组织抗氧化指标，显著提高条纹锯鮨幼鱼肌肉中胶原蛋白的含量。

② 本研究以特定生长率、肝脏中维生素 C 积累量和血清溶菌酶活性为评价标准，通过折线回归模型得出，规格为 88 g 左右条纹锯鮨幼鱼饲料中维生素 C 的需要量分别为 66.66、309.93 和 345.11 mg/kg。

参考文献：

[1] 颉志刚,牛翠娟.维生素 C 在鱼类营养与饲料研究中的重要作用及应用[J].饲料广角,2003(13):29–32.

[2] 黄磊,詹勇,王秀英.鱼类维生素 C 的生理功能和需要量[J].中国饲料,2005(4):29–31.

[3] FRACALOSSI D M,ALLEN M E,YUYAMA L K,et al.Ascorbic acid biosynthesis in Amazonian fishes[J].Aquaculture,2001,192(2/3/4):321–332.

[4] MONTERO D,MARRERO M,IZQUIERDO M S,et al.Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles subjected to crowding stress[J].Aquaculture,1999,171(3/4):269–278.

[5] 王波,朱明远,毛兴华.养殖新品种——美洲黑石斑鱼[J].河北渔业,2003(5):26–27.

[6] 雷霁霖,卢继武.美洲黑石斑鱼的品种优势和养殖前景[J].海洋水产研究,2007,28(5):110–115.

[7] 林星.条纹锯鮨幼鱼配合饲料适宜的蛋白质、脂类含量及能蛋比[J].福建农林大学学报（自然科学版）,2011,40(4):401–406.

[8] 邱金海.饲料蛋白水平和能蛋比对美洲黑石斑幼鱼生长的影响[J].甘肃农业大学学报,2009,44(4):50–57.

[9] ANDERSON A D,ALAM M S,WATANABE W O,et al.Full replacement of menhaden fish meal protein by low-gossypol cottonseed flour protein in the diet of juvenile black sea bass

Centropristis striata[J].Aquaculture,2016,464:618－628.

[10] ALAM M S,WATANABE W O,CARROLL P M.Dietary protein requirements of juvenile black sea bass,*Centropristis striata*[J].Journal of the World Aquaculture Society,2008,39(5):656－663.

[11] ALAM M S,WATANABE W O,MYERS A R,et al.Effects of dietary salt supplementation on growth,body composition,tissue electrolytes,and gill and intestinal Na^+/K^+ ATPase activities of black sea bass reared at low salinity[J].Aquaculture,2015,446:250－258.

[12] 李宝山,冷向军,李小勤,等.投饲蚕豆对异育银鲫生长、肉质及肠道蛋白酶活力的影响[J].动物营养学报,2007,19(5):631－635.

[13] 周歧存,刘永坚,麦康森,等.维生素 C 对点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)生长及组织中维生素 C 积累量的影响[J].海洋与湖沼,2005,36(2):152–158.

[14] SHIAU S Y,HSU T S.Quantification of vitamin C requirement for juvenile hybrid tilapia,*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*,with *L*-ascorbyl–2-monophosphate-Na and *L*-ascorby1–2-monophosphate-Mg[J].Aquaculture,1999,175(3/4):317–326.

[15] 胡毅,黄云,文华,等.维生素 C 对青鱼幼鱼生长、免疫及抗氨氮胁迫能力的影响[J].水产学报,2013,37(4):565–573.

[16] LEE K J,KIM K W,BAI S C.Effects of different dietary levels of *L*-ascorbic acid on growth and tissue vitamin C concentration in juvenile *Korean rockfish*,*Sebastes schlegeli* (Hilgendorf)[J].Aquaculture Research,1998,29(4):237–244.

[17] REN T J,KOSHIO S,ISHIKAWA M,et al.Influence of dietary vitamin C and bovine lactoferrin on blood chemistry and non-specific immune responses of Japanese eel,*Anguilla japonica*[J].Aquaculture,2007,267(1/2/3/4):31–37.

[18] FREEMAN B A,CRAPO J D.Biology of disease:free radicals and tissue injury[J].Laboratory Investigation,1982,47(5):412–426.

[19] 黄志斐,马胜伟,张喆,等.BDE3 胁迫对翡翠贻贝(*Perna viridis*)SOD、MDA 和 GSH 的影响[J].南方水产科学,2012,8(5):25–30.

[20] 明建华.大黄素和维生素 C 对团头鲂生长、非特异性免疫以及抗应激的影响[D].博士学

位论文.南京:南京农业大学,2008:68–69.

[21] 王文辉,王吉桥,程鑫,等.不同剂型维生素 C 对黄颡鱼生长和几种免疫指标的影响[J].中国水产科学,2006,13(6):951–958.

[22] 谢一荣,吴锐全,谢骏,等.维生素 C 对大口黑鲈生长与非特异性免疫的影响[J].大连水产学院学报,2007,22(4):249–254.

[23] 李小勤,胡斌,冷向军,等.VC 对草鱼成鱼生长、肌肉品质及血清非特异性免疫的影响[J].上海海洋大学学报,2010,19(6):787–791.

[24] 邢克智,郭永军,陈成勋,等.维生素 C 对点带石斑鱼生长及其组织抗氧化性能的影响[J].水产科学,2012,31(11):635–639.

[25] 宋理平,黄旭雄,周洪琪,等.VC、β-葡聚糖和藻粉对中国对虾幼虾生长、成活率及免疫酶活性的影响[J].上海水产大学学报,2005,14(3):276–281.

[26] 艾春香,陈立侨,刘晓玲,等.维生素 C 对中华绒螯蟹非特异性免疫的影响[J].水产学报,2008,32(2):249–256.

[27] LIN L,ZENG X L,ZHANG J.Effect of profenofos poisoning on liver lipid peroxidation and liver function in rabbits[J].Chinese Journal of Clinical Rehabilitation,2004,8(21):4380–4381.

[28] WANG X J,KIM K W,BAI S C,et al.Effects of the different levels of dietary vitamin C on growth and tissue ascorbic acid changes in parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*)[J].Aquaculture,2003,215(1/2/3/4):203–211.

[29] AL-AMOUDI M M,EL-NAKKADI A M N,EL-NOUMAN B M.Evaluation of optimum dietary requirement of vitamin C for the growth of *Oreochromis spilurus* fingerlings in water from the Red Sea[J].Aquaculture,1992,105(2):165–173.

[30] DABROWSKI K.Gulonolactone oxidase is missing in teleost fish.The direct spectrophotometric assay[J].Biological Chemistry Hoppe-Seyler,1990,371(1):207–214.

[31] FOURNIER V,GOUILLOU-COUSTANS M F,KAUSHIK S J.Hepatic ascorbic acid saturation is the most stringent response criterion for determining the vitamin C requirement of juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labra*)[J].The Journal of Nutrition,2000,130(3):617–620.

[32] 李华,王小洁,麦康森,等.饲料维生素 C 添加量对半滑舌鳎幼鱼存活、生长、及组织中抗坏血酸含量的影响[J].中国海洋大学学报,2012,42(1/2):75–80.

[33] 陈建明,叶金云,潘茜,等.饲料中添加维生素 C 对翘嘴鲌鱼种生长及组织中抗坏血酸含量的影响[J].中国水产科学,2007,14(1):106–112.

[34] 吴凡,文华,蒋明,等.饲料维生素 C 水平对吉富罗非鱼生长性能、肌肉品质和抗氧化功能的影响[J].中国水产科学,2015,22(1):79–87.

Vitamin C Requirement of Juvenile *Centropristis striata*

ZHAO Tingting[1,2] CHEN Chao[1*] SHAO Yanxiang[1] ZHANG Qingwen[1] LIU Ling[1,2]

(1. *Yellow Sea Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao* 266071, *China*; 2. *College of Fishers and Life Science*, *Shanghai Ocean University*, *Shanghai* 201306, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the vitamin C requirement of juvenile *Centropristis striata.* A single factor test design was adopted in the experiment, a total of 630 juvenile *Centropristis striata* with average body weight of （88.34±24.1） g were selected and randomly divided into 7 groups with 3 replicates per group and 30 fishes per replicate. Fishes in the 7 groups were fed the isonitrogenous and isocaloric diets which vitamin C contents (measured values) were 10.97 （control）, 74.03, 148.33, 213.64, 335.33, 618.88, 910.98 mg/kg, respectively. The effects of dietary vitamin C on growth performance, serum biochemical indices, related enzyme activities, tissue vitamin C concentrations and muscle composition of juvenile *Centropristis striata* were detected. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: 1) the weight gain rate and special gain rate in 74.03 mg/kg group were significantly higher than those in 10.97, 618.88 and 910.98 mg/kg groups (P<0.05), the feed conversion ratio in 74.03 mg/kg group was significantly lower than that in 10.97 and 910.98 mg/kg groups (P<0.05), the protein efficiency ratio in 10.97 and 910.98 mg/kg groups was significantly lower than that in 74.03 and 618.88 mg/kg groups (P<0.05), the condition factor in 335.33 mg/kg group was

*Corresponding author, professor, E-mail: ysfrichenchao@126.com

（责任编辑 武海龙）

significantly lower than that in 74.03, 148.33 and 213.64 mg/kg groups (P<0.05). 2） The serum total protein content in 10.97 and 74.03 mg/kg groups was significantly lower than that in other groups (P<0.05), the serum triglyceride content in 618.88 and 910.98 mg/kg groups was significantly lower than that in other groups (P<0.05), the serum lysozyme activity in 10.97 mg/kg group was significantly lower than that in 213.64, 335.33, 618.88 and 910.98 mg/kg groups (P<0.05). 3) The serum superoxide dismutase (SOD) activity in 335.33 mg/kg group was significantly higher than that in 10.97, 74.03 and 910.98 mg/kg groups (P<0.05), the serum total antioxidant capacity (T-AOC) in 335.33 mg/kg group was significantly higher than that in 10.97, 618.88 and 910.98 mg/kg groups (P<0.05), the serum malondialdehyde (MDA) content in 335.33 mg/kg group was significantly lower than that in 910.98 mg/kg group (P<0.05). 4) The activities of SOD and catalase (CAT) in liver in 10.97 mg/kg group were significantly lower than those in other groups (P<0.05), the liver MDA content in 148.33, 335.33 and 910.98 mg/kg was significantly lower than that in 10.97 mg/kg group (P<0.05). 5) The muscle SOD activity and T-AOC in 74.03 mg/kg group were significantly higher than those in other groups (P<0.05). 6) The serum glutamic oxalacetic transaminase (GOT) activity in 213.64, 335.33, 618.88 and 910.98 mg/kg groups was significantly lower than that in 10.97 mg/kg group (P<0.05), the liver GOT activity in 10.97 mg/kg group was significantly lower than that in other groups (P<0.05). The serum glutamic-pyruvic transaminase (GPT) activity in 10.97 and 74.03 mg/kg groups was significantly higher than that in other groups (P<0.05). 7) The serum vitamin C accumulation in 910.98 mg/kg group was significantly higher than that in other groups (P<0.05), the liver vitamin C accumulation in 910.98 mg/kg group was significantly higher than that in 10.97, 74.03, 148.33 and 213.64 mg/kg groups (P<0.05), the muscle vitamin C accumulation in 618.88 mg/kg group was significantly higher than that in 10.97, 74.03, 148.33 and 213.64 mg/kg groups (P<0.05). 8) The muscle moisture content in 74.03 mg/kg group was significantly lower than that in 10.97, 148.33 and 213.64 groups (P<0.05), the muscle collagen content in 910.98 mg/kg group was significantly higher than that in other groups (P<0.05). In conclusion, set the special gain rate, liver vitamin C accumulation and serum lysozyme activity as evaluation indexes, the broken-line

regression analysis results indicate that dietary vitamin C requirements of juvenile *Centropristis striata* are 66.66, 309.93 and 345.11 mg/kg, respectively.

Key words：*Centropristis striata*; vitamin C; growth; antioxidant; vitamin C accumulation